



TITLE:

キーボードにおける特殊記号の打鍵に関する特性調査 (数学ソフトウェアと教育: 数学ソフトウェアの効果的利用に関する研究)

AUTHOR(S):

白井, 詩沙香; 福井, 哲夫

CITATION:

白井, 詩沙香 ...[et al]. キーボードにおける特殊記号の打鍵に関する特性調査 (数学ソフトウェアと教育: 数学ソフトウェアの効果的利用に関する研究). 数理解析研究所講究録 2012, 1780: 1-12

ISSUE DATE:

2012-03

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/171839>

RIGHT:

キーボードにおける 特殊記号の打鍵に関する特性調査

武庫川女子大学大学院・生活環境学研究科 白井詩沙香 (Shizuka Shirai)
Graduate School of Human Environmental Sciences
Mukogawa Women's University
武庫川女子大学 福井哲夫 (Fukui Tetsuo)
Mukogawa Women's University

1 はじめに

学校教育における情報化は高度情報通信ネットワーク社会の発展と共に 1980 年代より推進されてきた。各教科において生徒たちの理解や好奇心を深める、支援する手段の一つとして、様々な研究が行われている。

理工系の分野においても、数学ソフトウェアや CAS を利用した教育の取り組みが行われてきた。e ラーニングの分野でも、CAS と連携させることで数式の取り扱いを可能にし、理工系の数学的学習を支援するシステムが開発され、研究が進められている [5]。こうした数学関連の教材や教科書のデジタル化に伴い、今後理工系以外の一般の生徒や学生も学習活動において数式を入力する必要性が高まると我々は考えている。そのとき、キーボードというインタフェースはどの程度使えるものかを調べておきたいと考え、2010 年度より調査を開始した。

2010 年度の調査では、まず学生のタイピング能力の現状を探るべく、本学情報メディア学科の学生に対してアンケートとタイピング能力の測定調査を行った [3]。アンケートの内容は、『日本語の文章入力』と『数・特殊記号入力』それぞれのタッチタイピング能力の自己評価を問うものである。結果は、『日本語の文章入力』は 45% の被験者が「あまりできない」、「全くできない」と回答したのに対し、『数・特殊記号入力』は、80.1% が「あまりできない」、「全くできない」と回答した。このことから、「ローマ字」に比べ、「数・特殊記号」のキー操作は苦手と自覚していることが判った。

そこで、実際にタイピング能力の測定調査を行ったところ、「ローマ字」問題と「数式」問題の結果を比べると「数式」のタイピングが苦手であり、「数式」を構成している要素、「数字」、「英字」、「特殊記号」の各ランダム問題の中では、「特殊記号」のタイピングが一番苦手であることが判った。さらに「特殊記号」が苦手な原因を観察したところ、「覚えのない記号があること」、「記号の場所を覚えていないこと」、「シフトキーの打ち分けが難しいこと」といった不慣れ（無知・経験不足）から来ている反応が多かった。この理由は、「特殊記号」を利用する機会（必要性）がほとんどないためであると容易に想像され、数式の要素である特殊記号を頻繁に入力する必要のあるソフトウェアを設計する上で大きな問題（壁）となる。

そこで本研究では、「特殊記号」を入力するためのインタフェースとしてのキーボードにおける注意すべき点や特性、すなわち、使い易いあるいは使いづらい特殊記号は何か

のか、また、トレーニングし易いあるいはしづらい特殊記号が何なのか、知見を与えることを目的とする。

第2章では本調査における使い易さ、トレーニングし易さの基準についてまず述べ、第3章にて一般ユーザのタイピング測定の方法および結果について報告する。また、第4章では一定のトレーニングを行った被験者に対するタイピング測定の方法および結果について報告する。第5章では、これらの結果よりキーボードにおける特殊記号の使い易さによる分類、トレーニングし易さによる分類を行い、最後に、第6章を全体のまとめとする。

2 使い易さ、トレーニングし易さの基準

ここでは、本研究で目的としているキーボード打鍵における「使い易い特殊記号」、「トレーニングし易い特殊記号」について明確にする。そのために、まず本研究で対象とする打鍵について規定する。

2.1 本研究における打鍵の認知情報処理モデル

キーボードの打鍵過程を細かく見ると、人によって様々で、ひとつひとつキーを探しながら打鍵するタイプ（ハント&ペック型）やキーを見ずに打鍵するタイプ（タッチタイピング型）がある [1]。

ディスプレイに1文字表示され、それを被験者が打鍵する過程を認知情報処理モデル [6] に照らし合わせて図示したものが図1である。

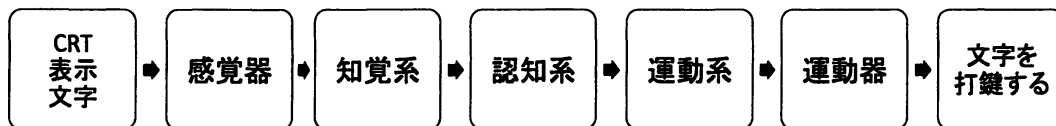


図1: タイピングテストの認知情報処理モデル

まず、ディスプレイに1文字問題が表示されると、感覚器である目を介して情報が知覚系へ入力される。この知覚系から運動系にかけては、脳の中枢神経系で処理されている。知覚系では、感覚情報貯蔵庫へ保持されたイメージ情報がパターン認識などの過程を経て、1つのチャンクとして認識され、短期記憶へ転送される。チャンクとは、記憶の中の1つのまとまりを示す言葉で、ここでは1文字のことである。ただし、文章のタッチタイピングに慣れた人は、1つの単語が1つのチャンクとなる場合もある。記号の見間違いはこの過程で起こると予想される。

次に、認知系において認識されたチャンクは、長期記憶と連係しながら何らかの判断が行われる。キーの場所を覚えていないなどの不慣れ（無知・経験不足）による打鍵ミスは、この部分が要因となり起こっている。なお、本研究における慣れ、不慣れの意味

は、認知心理学でいう知識が手続的知識の状態と宣言的知識の状態を指す。手続的知識とは行為に関する知識で、宣言的知識とは事実にかかわる知識である。タイピングを例にあげると、初心者の知識は宣言的に表現されており、キーボードの配置をキーの位置に基づき覚えることはできる。しかし、熟練すると知識が手続的に表現され、位置情報は曖昧になり、指を動かせばキーの位置に注意を向けなくても打鍵できるようになると言われている [4]。

最後に、認知系での判断結果が運動系に伝達され、手や指などの運動器を介して打鍵するという行動に至る。キーボード構造などの物理的な影響については、この過程で起こると予想される。

本研究では、特殊記号を調査の対象としており、知覚過程においてチャンクの認識に個人差や扱う分野の差をさけるため、ランダムな出題による特殊記号の1文字打鍵に限定して特性調査を行うこととする。

なお、本研究で取り扱う特殊記号は、一般のキーボードで入力できる以下の文字のことを指す（バッククォーテーションキーについては、日本では¥マークの関係で取り扱いが複雑なため、今回は調査対象から除いた）。

特殊記号： ! " # \$ % & ' () * + , - . / : ; < = > ? @ [] ^ _ { | } ~

2.2 使い易さの定義

本研究における「使い易い特殊記号」とは、前節で規定したキーボード打鍵において正しいキーを打鍵するまでの打鍵時間とミス率が低い特殊記号とする。なお、打鍵時間および、ミス率は次のように定義する。

<p>打鍵時間：1文字当たりの平均打鍵時間（秒）</p> <p>ミス率：100文字当たりの平均ミスタイプ数（%）</p>
--

2.3 トレーニングし易さの定義

打鍵に関する人の習熟は複雑であり、トレーニングに関しても多くの議論が必要であるが、今回の研究では「トレーニングし易い特殊記号」を一定回数のトレーニングによる打鍵時間とミス率の伸び率の高さで判断することとする。ここで、伸び率とは次のように定義される。

$$\text{伸び率} = \frac{\text{習熟前の値} - \text{習熟後の値}}{\text{習熟後の値}}$$

3 一般ユーザ（未習熟者）の打鍵特性

まずはじめに、トレーニングを行っていない一般ユーザに対して打鍵時間およびミス率の測定を行った。その測定内容、方法、および結果について報告する。

3.1 測定内容

まず、本研究で測定した内容は、特殊記号の打鍵トレーニングをしていない複数の被験者に対して、ランダムに2回ずつ出題された31種類の特殊記号を打鍵してもらった際の特殊記号別の平均打鍵時間と平均ミス率である。その際、打鍵開始の状態を統一するため、常に指がホームポジションにある状態から1つの特殊記号を打鍵するようにして計測した。ただし、打鍵ミスした場合は、正しい記号が打鍵されるまでの時間を打鍵時間として測定する。またそのとき、ミス打鍵した文字を記録しておき、ミス文字数からミス率を算出する。さらに、記録したミス履歴は要因分析にも利用する。

3.2 測定方法

(1) 被験者

被験者は、本学情報メディア学科1年生162名で、コンピュータに関心はあるが、まだプログラミング系の指導や演習を受けていない状態の学生である。

(2) 測定環境

今回の測定環境は実習室にあるPC (Windows7) で、キーボードタイプはOADG109A[2]を使用した。

作成したJavaプログラムによって打鍵文字が自動的に出題され、打鍵時間はPCの内部クロックを用いてミリ秒単位で自動計測が行えるようにした。被験者162人を2グループに分けて、1グループ約80人に対して一斉に計測を行った。

(3) 打鍵開始状態の統一化

打鍵計測プログラムでは、打鍵開始状態の指の位置をホームポジションに戻させるために、毎回まず人差し指のホームポジション“f”又は“j”キーを出題し打鍵させ、それから計測したい特殊記号を出題する。ホームポジションキーを打鍵した直後は、ほぼ指がホームポジションキー付近にあるため、特殊記号の打鍵開始状態を統一することができる。したがって、打鍵時間として本研究で得られた知見は、ホームポジションに位置する指がそのキーを打鍵するまでの時間となる。

3.3 測定結果

(1) 打鍵時間

タイピングテストの測定結果より、全特殊記号の平均打鍵時間およびその偶然誤差を算出した結果、 3.12 ± 0.12 秒/1字となった。結果を図2に示す。

1文字打鍵するのに平均して3秒以上もかかっていることが判る。各特殊記号を見ると、| (パイプ) や ^ (キャレット) キーなどが平均より高い数値を示しており、これらが全体の打鍵時間を牽引していることが判る。

(2) ミス率

次に、タイピングテストの測定結果より全特殊記号の平均ミス率および偶然誤差を算出した結果、 $25.9 \pm 2.1\%$ となった。結果を図3に示す。

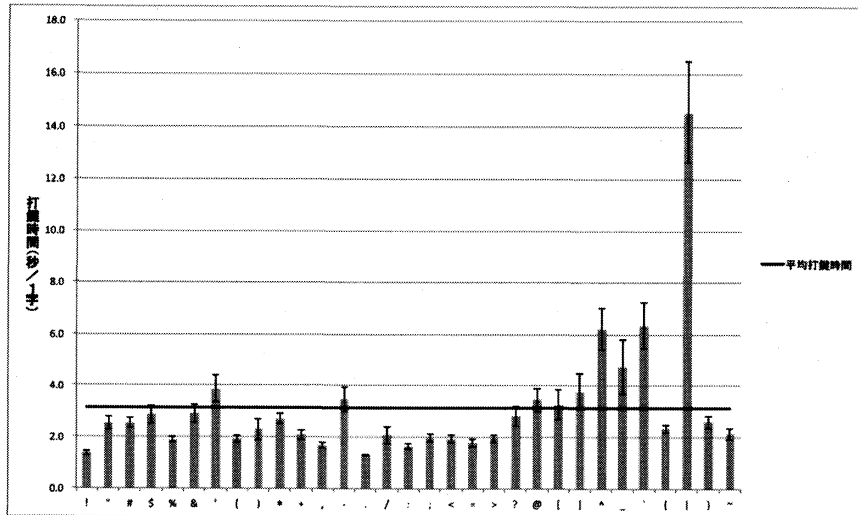


図 2: 特殊記号別の打鍵時間測定結果

ミスについても 100 文字打鍵する間に約 26 文字ミスをするということで、ミスが多いことが判る。なお、補足になるが、| (パイプ) キーのミス率が 100%を超えているのは、ほとんどの人がそのキーを正しく打鍵するまでに 2 回以上のミスをしたためである。

(3) 打鍵時間とミス率の相関

各特殊記号を見ると、ミス率が高いキーは、大括弧のペアを除き、打鍵時間が高いものと一致していることが判る。そこで、打鍵時間とミス率の相関を調べた結果、正の相関が示された ($r=.84, p<.01$)。すなわち、ミス率が高いほど打鍵時間がかかる特徴があることが判った。散布図を図 4 に示す (×マーク)。

図 2~4 の結果が示す一般ユーザに対する特殊記号の打鍵特性から未習熟者の使い易いキーを分類することができる。それについては、第 5 章で説明する。

3.4 未習熟者の打鍵特性に影響している要因

前節で述べたように、一般ユーザ (未習熟者) の打鍵時間とミス率には正の相関があることから、ミス原因を調べれば得られた打鍵特性の要因、特に苦手 (使いづらい) キーの要因が把握できると考えられる。ミス履歴を分析した結果、大きく分けて表 1 の 3 つのミス原因があり、これらが打鍵特性に影響を与えていることが判った。

これらのミス原因を 2.1 節で述べた認知情報処理モデルに照らし合わせると、ミス原因 1, 2 は認知系が関わる段階にあり、不慣れ (無知・経験不足) からくる要因であることが判る。一方、ミス原因 3 はディスプレイに表示された文字を類似記号と見間違えてしまうということからきていると判断でき、知覚段階で生じていると言える。この他にもキーボードの構造等、物理的な要因も打鍵特性に影響を与えていると考えられるが、一般ユーザの測定結果だけでは、不慣れからくる要因の影響が大きすぎるため、これ以上の切り分けは難しい。

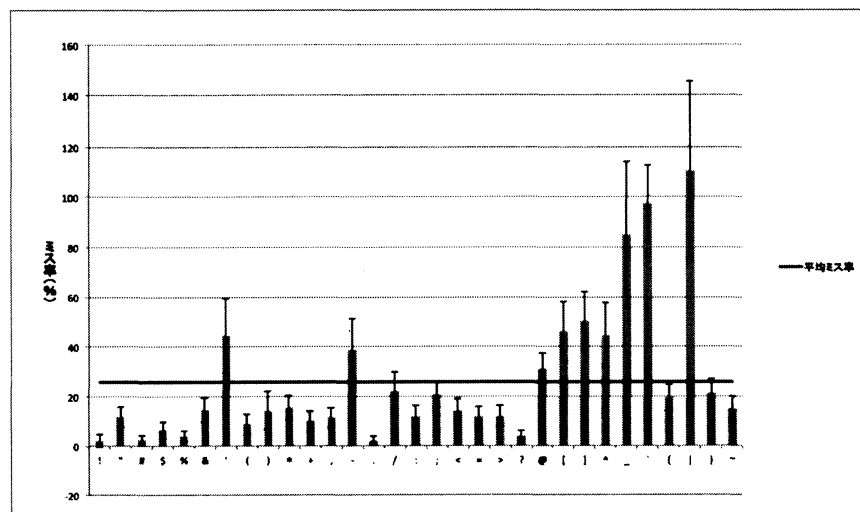


図 3: 特殊記号別のミス率測定結果

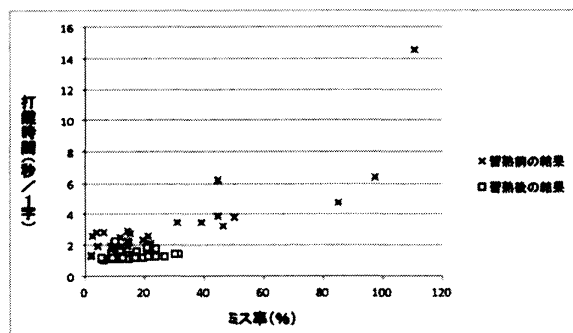


図 4: 打鍵時間とミス率の相関 (散布図)

4 一定習熟後の打鍵特性

次に一定の打鍵トレーニングを行ったユーザに対して打鍵時間およびミス率の測定を行った。トレーニングの目的、方法、および結果について報告する。

4.1 打鍵トレーニングの目的

第3章で述べた、一般ユーザの使いづらいキーの結果は、主に不慣れによる要因すなわちユーザの状態からきていることが判った。この特性もユーザインタフェースを考える上で重要な知見と言える。しかし、キーボードの構造（物理）的観点による影響の有無については明確ではない。そこで、不慣れの部分を打鍵トレーニングによってある程度解消して、再び打鍵時間およびミス率を測定することを試みる。さらに、伸び率についても一般ユーザ（未習熟者）と打鍵トレーニング後の習熟者の測定値より算出し、知見を得る。

表 1: ミスの原因

	ミスの内容	出題記号	ミス打鍵した記号
ミス原因 1	Shift キーの打ち分けがわからない	^	~
ミス原因 2	記号に見覚えがない 記号の場所を覚えていない	-	¥ (かな入力のキーマークを誤認) ¥ l(エル) i(アイ)
ミス原因 3	類似記号による問題	'	,

4.2 打鍵トレーニングと測定方法について

(1) 被験者

被験者は、本学情報メディア学科2年生80名で、「プログラミング論」という授業において、毎週5分間の打鍵トレーニングを計8回行った状態の学生である。測定は、3.2節と同様の方法で行った。

(2) 打鍵トレーニングの方法と状態

打鍵トレーニングは、独自開発した Java プログラムを使用し行った。「ホームポジション」、「各キーボード段」、「ランダム問題」の計6種類のコースからなり、コース終了後に自分の成績、習熟グラフを確認できるようになっている。トレーニングにおいても、ホームポジションを意識させるために、出題開始はホームポジションとし、その後は特殊記号と交互に打鍵させるような出題形式とした。

トレーニング時の平均打鍵時間の推移を図5に示す（注）トレーニング時の打鍵時間にはホームポジションキーの打鍵時間も含めて測定したため、タイピングテスト時の打鍵時間より高い値となっている）。図5の習熟曲線から打鍵習熟が順調に進んでいることが判る。そこで、打鍵トレーニング前と打鍵トレーニング8回目の特殊記号の平均打鍵時間を面グラフで比較してみると図6のようになった。8回目の結果は、歪さがかなり軽減され、打鍵に慣れてきていることが伺える。実際に、図4の散布図（□マーク）を見ても打鍵時間・ミス率共に十分減少している。それゆえ、本研究ではトレーニング8回目の状態を測定し、習熟後の打鍵特性とする。

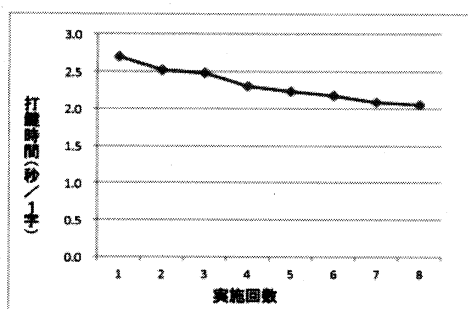


図 5: 打鍵時間の習熟推移

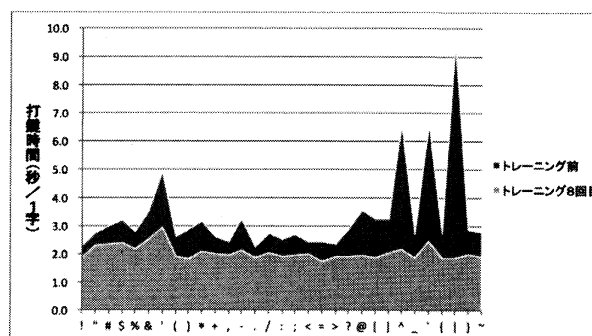


図 6: 未習熟時と習熟8回目の比較

4.3 一定習熟後の測定結果

(1) 打鍵時間と伸び率

全特殊記号の平均打鍵時間および偶然誤差を算出した結果、 1.33 ± 0.02 秒／1 字となった。習熟前に比べて、全体として約 2.3 倍打鍵が速くなっている。特殊記号別の詳細結果を図 7 に示す。この結果と前章で得た習熟前の打鍵時間の結果から、さらに伸び率を求めることができる。算出した伸び率の結果グラフを図 8 に示す。

特殊記号別の詳細結果グラフ、伸び率グラフから各特殊記号の習熟の度合いが判る。このように不慣れの要因がある程度解消された状態で、みえてきた打鍵時間の差による分類や意味については第 5 章で考察する。

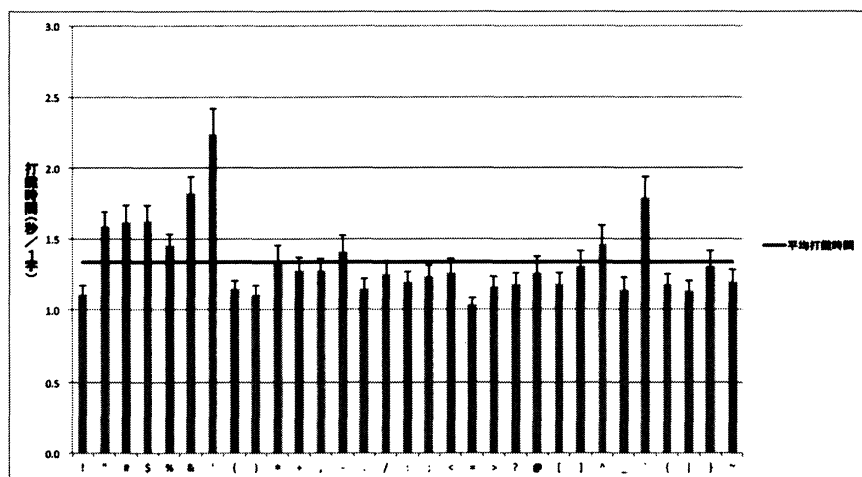


図 7: 一定習熟後の特殊記号別打鍵時間測定結果

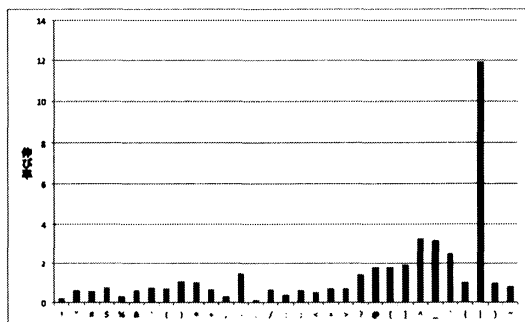


図 8: 打鍵時間の伸び率

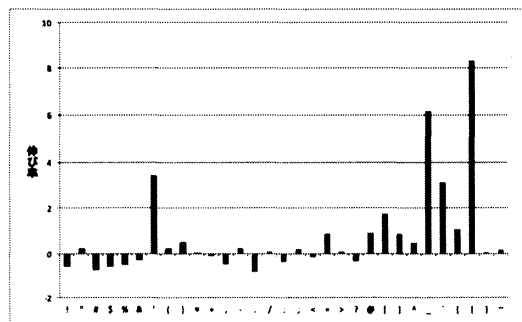


図 9: ミス率の伸び率

(2) ミス率と伸び率

次に、全特殊記号の平均ミス率および偶然誤差を算出した結果、 $15.3 \pm 1.5\%$ となった。打鍵トレーニング前よりも約 4 割ミスが軽減された。特殊記号別の結果を図 10 に示す。打鍵時間の詳細結果に比べ、結果にばらつきがある。

さらに、打鍵時間と同様に前章で得た習熟前のミス率の結果から伸び率を求めた結果を図9に示す。打鍵時間は全て伸び率が伸びていたにも関わらず、ミス率はマイナスに伸びているキー、すなわちトレーニングによって逆にミスが増えているキーがみられた。ミスが増えてしまった原因については、第5で考察する。

また、トレーニング受講者の打鍵時間とミス率の相関も調べたところ、相関は示されなかった ($r=.23, n.s.$) (図4の散布図 (□マーク) を参照)。

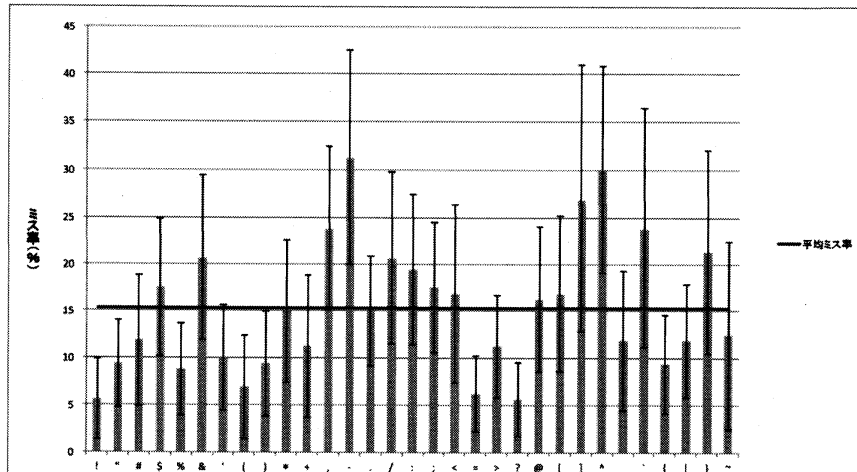


図 10: 一定習熟後の特殊記号別ミス率測定結果

5 打鍵特性による記号の分類

最後に、得られた打鍵特性より「使い易い特殊記号」、「トレーニングし易い特殊記号」について考察する。

5.1 使い易さの分類

ここでは、キーボードにおけるユーザインタフェースとしての知見を得るため、2.2節で述べた使い易さの定義に基づいて分類した結果を報告する。

まず、一般ユーザ（未習熟状態）と習熟者（一定習熟状態）それぞれに対する使い易いキーを打鍵時間の結果から分類する。今回は、分類の基準として全体の平均打鍵時間を採用し、誤差も含めて平均より速く打鍵できるものを第1群、平均と差がないものを第2群、遅いものを第3群とする。

分けた3つの群によって実際に打鍵時間が異なるかどうかを検討するために反復測定の分散分析を行った。表2に各群の平均値、標準偏差 (SD) と分散分析結果を示す。分散分析の結果、未習熟状態は群ごとの平均打鍵時間に有意な差がみられた ($F(2,322)=266.07, p<.001$)。同様に一定習熟状態の場合も有意な差がみられた ($F(2,158)=321.90, p<.001$)。多重比較 (Sidak 法, 5%水準) を行ったところ、全ての群の間に有意な差がみられた。

同様にミス率に関しても、全体の平均ミス率を基準に、誤差も含めて平均との差が無いもの、およびその上下の3群に分け、反復測定分散分析を行った結果、未習熟状態、一定習熟状態共に有意さが見られた（それぞれ $F(2,322)=100.32, p<.001, F(2,158)=22.31, p<.001$ ）。さらに、多重比較（Sidak 法、5%水準）を行ったところ、共に3群全ての間で有意差がみられた。

以上の結果から、未習熟状態、一定習熟状態共に打鍵時間およびミス率の3群をそれぞれ順に、「使い易い」、「平均的」、「使いづらい」キー群とする。各群に属する特殊記号の一覧を表3に示す。

表 2: 各群の平均値, SD と分散分析結果

状態	群	打鍵時間			ミス率		
		平均値	SD	F 値	平均値	SD	F 値
未習熟	使い易い	2.03	0.44	266.07 ***	9.54	8.51	100.32***
	平均的	3.22	1.51		25.67	25.04	
	使いづらい	7.15	3.56		68.39	66.58	
一定習熟	使い易い	1.15	0.16	321.90 ***	7.50	12.67	22.31***
	平均的	1.30	0.21		15.33	11.47	
	使いづらい	1.73	0.30		30.63	40.17	

*** $p<.001$

表 3: 特殊記号の使い易さの分類

未習熟	特殊記号	!	"	#	\$	%	&	'	()	*	+	,	-	.	/	:
	打鍵時間	○	○	○	□	○	□	▲	○	○	○	○	○	□	○	○	○
	ミス率	○	○	○	○	○	○	▲	○	○	○	○	○	□	○	□	○
	特殊記号	;	<	=	>	?	@	[]	^	-	'	{		}	~	
	打鍵時間	○	○	○	○	□	□	□	□	▲	▲	▲	○	▲	○	○	
	ミス率	□	○	○	○	○	□	▲	▲	▲	▲	▲	□	▲	□	○	
一定習熟	特殊記号	!	"	#	\$	%	&	'	()	*	+	,	-	.	/	:
	打鍵時間	○	▲	▲	▲	▲	▲	▲	○	○	□	□	□	□	○	□	○
	ミス率	○	□	□	□	○	□	□	○	□	□	□	□	▲	□	□	□
	特殊記号	;	<	=	>	?	@	[]	^	-	'	{		}	~	
	打鍵時間	○	□	○	○	○	□	○	□	□	○	▲	○	○	□	○	
	ミス率	□	□	○	□	○	□	□	□	▲	□	□	□	□	□	□	

○: 使い易い, □: 平均的, ▲: 使いづらい

5.2 トレーニングし易さの分類

算出した打鍵時間の伸び率を用いて、Ward 法によるクラスタ分析を行い、3つのクラスタを得た。第1クラスタには22個、第2クラスタには8個、第3クラスタには1個の特殊記号が含まれていた。各クラスタに属する特殊記号をみると、第2、第3クラ

スタには未習熟状態の「使いづらい」キー群と「平均的」キー群の特殊記号が含まれていることが判る。これらの特殊記号は伸び率も高く、トレーニングにより不慣れが解消した特殊記号と推測できる。このことから、第3クラスは「トレーニングで慣れる」キー群、第2クラスは「トレーニングで慣れ易い」キー群とする。一方で、第1クラスには、始めから慣れていて未習熟・一定習熟状態共に「使い易い」キー群の特殊記号や' (シングルクォーテーション), \$ (ドルマーク), & (アンドマーク) といった不慣れ(無知・経験不足)以外の要因により、習熟状態においても「使いづらい」キー群に分類された特殊記号の両方が含まれている。よって第1クラスを「トレーニングしづらい」キー群とする。各群に属する特殊記号の一覧を表4に示す。

最後に、ミス率の伸び率については、ミスが増えてしまったキーのミス履歴を確認した結果、一部の特殊記号を除き、近隣キーを打鍵してしまうミスが増えていることが判った。これは、ホームポジションのずれによるミスで、タッチタイピング形成時に見られるミスと言われている[1]。表4に、トレーニングによってミスが増えたキー(+マーク)、ミスが変わらない(絶対値が0.2未満)キー(0(ゼロ)マーク)、ミスが減ったキー(-マーク)を示しておく。

表4: トレーニングし易さの分類

特殊記号	!	"	#	\$	%	&	'	()	*	+	,	-	.	/	:
トレーニングし易さ	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	○	▲	▲	▲
ミス率の伸び率	+	-	+	+	+	+	-	-	-	0	0	+	-	+	0	+

特殊記号	;	<	=	>	?	@	[]	^	_	`	{		}	~
トレーニングし易さ	▲	▲	▲	▲	○	○	○	○	○	○	○	▲	◎	▲	▲
ミス率の伸び率	-	0	-	0	+	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0

◎: トレーニングで慣れる, ○: トレーニングで慣れ易い, ▲: トレーニングしづらい

6 まとめと今後の課題

本研究では、PCの入力インターフェースとして現在主流であるキーボードを調査した。その結果、キーボードにおける特殊記号の一般ユーザ(未習熟者)および一定習熟者それぞれに対する打鍵特性と使い易さの分類、そしてトレーニングし易さの分類を明らかにした。

得られた知見がキーボードを用いた特殊記号を扱うソフトウェアのユーザインターフェースを設計する上で参考になれば幸いである。

今後の課題は、第1に、打鍵時間とミス率の総合的観点から特殊記号の使い易さ、トレーニングし易さを分類すること、第2に、不慣れの要因がある程度解消されたと期待できる一定習熟状態における打鍵特性をキーボードの構造(物理)的観点から分析すること、そして第3に、習熟状況から見た被験者に対する分類を試み、そのタイプ別に特殊記号の打鍵特性や注意すべき点を明らかにすることである。

参考文献

- [1] 大岩元:タッチタイプ入力による日本語 CAI システム, 科学研究費補助金 (一般研究 (B)) 研究成果報告書,1986,45-47.
- [2] 財団法人 日本規格協会:仮名漢字変換システムの基本機能, 財団法人 日本規格協会,2008.
- [3] 白井詩沙香, 福井哲夫:数式処理を用いた教育を想定したタイピング能力の調査, 数理解析研究所講究録 1735 「数式処理と教育」,2011,73-84.
- [4] 高野陽太郎:2 記憶, 認知心理学, 東京大学出版会, 東京,1995.
- [5] 中村泰之:STACK と Moodle による数学 e ラーニング, 数理解析研究所講究録 1735 「数式処理と教育」,2011,9-15.
- [6] 村田暑生:認知科学 心の働きをさぐる, 朝倉書店, 東京,2007.